УДК 621.86
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-2-25-32

Повышение безопасности и эксплуатационной эффективности контейнерных перевозок

А. А. Короткий, Ал. Ан. Демьянов, Ал. Ал. Демьянов
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. В настоящее время в технологии контейнерных перевозок существует логистическая проблема, связанная с перевозкой пустых грузовых контейнеров в качестве возвратной тары, так как пустой контейнер занимает столько же места, как и полный. Перспективным направлением решения этой проблемы является внедрение складных грузовых контейнеров. Недостатком данного подхода является вероятность травмирования обслуживающего персонала, который при складывании и раскладывании контейнера должен находиться внутри него.
Постановка задачи. Задачей данного исследования является изучение условий повышения безопасности подготовительных работ за счет конструкции контейнера, главной особенностью которой является способность реализовывать эффект функциональной самоприспосабливаемости (адаптации) к условиям работы.
Теоретическая часть. Такой подход позволяет при складывании и раскладывании контейнера уравновешивать меняющиеся реакции от собственных масс и моментов его подвижных корпусных частей посредством соответствующих блокируемых газовых пружин. Газовые пружины связывают ведущие звенья и ведомые кинематические цепи. Это обеспечивает их движение в заданном скоростном режиме на всей траектории, независимо от скорости ведущего звена. Для практической реализации предлагаемого конструктивного решения в работе в общем виде представлена методика синтеза адаптивного регулятора механизмов контейнера в процессе складывания-раскладывания его подвижных частей.
Выводы. Испытание контейнера показало, что эффект функциональной самоприспосабливаемости достаточно хорошо реализуется по всей траектории движения элементов контейнера без использования внешних подъемных механизмов.

Ключевые слова: складной контейнер, повышение безопасности, самоприспосабливаемость, адаптивное управление.

Для цитирования: Короткий, А. А. Повышение безопасности и эксплуатационной эффективности контейнерных перевозок / А. А. Короткий, Ал. Ан. Демьянов, Ал. Ал. Демьянов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2021. — № 2. — С. 25–32. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-2-25-32

Increasing the safety and operational efficiency of container transportation

A. A. Korotkiy, Al. An. Demyanov, Al. Al. Demyanov
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. Currently, there is a logistic problem in container transportation technology related to the transportation of empty freight containers, as returnable containers, since an empty container takes up as much space as a full one. A promising direction for solving this problem is the introduction of folding cargo containers. A disadvantage of this approach is the likelihood of injury to the maintenance personnel, which must be inside in the process of folding and unfolding.
Problem Statement. The objective of this study is to study the conditions for increasing the safety of preparatory work due to the design of the container, the main feature of which is the ability to realize the effect of functional self-adaptation to working conditions.
Theoretical Part. This approach allows us, when folding and unfolding, to balance the changing reactions from the own masses and the moments of its moving body parts by means of the corresponding lockable gas springs. Gas springs connect leading links and driven kinematic chains thereby ensuring that their movement in a given speed mode on the entire trajectory is independent of the speed of the driving link. For the practical implementation of the proposed design solution, the paper presents a general method for the synthesis of an adaptive controller of the container mechanisms in the process of folding and unfolding its moving parts.
Conclusion. Testing of the container showed that the effect of functional self-adaptability is quite well implemented along the entire trajectory of the container elements without the use of external lifting mechanisms.

Keywords: folding container, safety increase, self-adaptability, adaptive management.

For citation: Korotkiy A. A., Demyanov Al. An., Demyanov Al. Al. Increasing the safety and operational efficiency of container transportation; Safety of Technogenic and Natural Systems. 2021;2:25-32. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-2-25-32

Введение. В настоящее время в технологии контейнерных перевозок существует логистическая проблема, связанная с перевозкой пустых контейнеров в качестве возвратной тары. Учитывая, что пустой контейнер занимает столько же места, как и полный, их перевозка транспортными средствами значительно увеличивает расходы на топливо, непроизводительную затрату трудовых ресурсов, амортизацию транспортных средств, загруженность дорог и негативное воздействие на экологическую среду.

Постановка задачи. Одним из весьма перспективных направлений решения этой комплексной задачи, открывающей возможности выхода из сложившейся ситуации, является внедрение складных грузовых контейнеров. Складная конструкция контейнера может обеспечить транспортировку несколько пустых собранных контейнеров в одном транспортном средстве, позволяя экономить расходы на логистику и транспорт за счет более эффективной организации перевозок [1].

К настоящему времени известен ряд конструктивных исполнений [2] сборно-разборных грузовых контейнеров-трансформеров. Основными структурными и кинематическими признаками такого типа трансформеров является наличие верхнего и нижнего основания, складных боковых и торцевых стенок. Причем расположенные в торцовой части стенки, а также верхнее и нижнее основания состоят из частей, присоединенных посредством шарниров к боковым стенкам. При этом части оснований также связаны между собой посредством шарнирных соединений. Для исключения деформации частей верхнего основания, при трансформации в объем, они снабжены упорами. Боковые стенки шарнирно связаны с основаниями, по углам которых расположены элементы для строповки. На эти элементы опирается конструкция при трансформации в объем. Элементы крепления установлены и на торцовых стенках, как с внешней, так и с внутренней стороны.

Характерным недостатком конструкций такого типа является необходимость использования грузоподъемных средств для складывания и раскладывания, что значительно снижает их эксплуатационную эффективность. Кроме того, очень серьезным недостатком является то, что существует вероятность травмирования обслуживающего персонала, так как при выполнении операций складывания и раскладывания такая конструкции требует нахождения обслуживающего персонала внутри контейнера.

В сложившейся ситуации очевидна необходимость повышения эксплуатационной эффективности складных грузовых контейнеров. Исходя из сформулированных недостатков, одним из направлений, позволяющих решить эту задачу, является разработка автономной и более эффективной конструкции складного контейнера. В частности, повышения эксплуатационной эффективности конструкции можно достичь путем включения в нее механизмов, позволяющих приводить его в рабочее положение и выводить из него без использования внешних подъемных механизмов, обеспечивая тем самым безопасность обслуживающего персонала [3].

Теоретическая часть. Как вариант решения поставленной задачи предлагается конструкция складного контейнера, механизмы которого позволяют реализовывать эффект функциональной самоприспосабливаемости (адаптации) к условиям работы [2]. Реализация такого подхода позволяет при складывании и раскладывании уравновешивать суммарные собственные массы и моменты от подвижных корпусных частей (крыши, боковых и торцевых стенок) посредством соответствующей блокируемой газовой пружины и обеспечивать их движение в заданном скоростном режиме на всей траектории независимо от скорости ведущего звена. Иными словами, обеспечивается более равномерный, «плавный» скоростной режим по отношению к ведущему звену, что, в свою очередь, также повышает уровень безопасности при эксплуатации.

Рассмотрим работу такого контейнера на примере его использования для перевозки штучных грузов в стесненных условиях урбанизированной (городской) среды. Складные грузовые контейнеры в сложенном состоянии могут храниться на складе в штабелях, как любой крупногабаритный груз. При необходимости с помощью автомобильного манипулятора через траверсу контейнеры стропуются и загружаются в кузов или на платформу автомобиля друг на друга и закрепляются. Манипулятор с контейнерами отправляется по указанному маршруту. Прибыв на место загрузки, например, двор жилой застройки, посредством манипулятора производят разгрузку сложенного контейнера на свободное место (рис. 1).



Рис. 1. Разгрузка сложенного складного грузового контейнера

В сложенном положении такой контейнер занимает минимальный объем пространства, примерно, одну четверть от его объема в раскрытом состоянии.

После выгрузки контейнера (рис. 2) оператор при помощи ручного рычага 1 через отверстия 2 в раме обеспечивает раскладывание боковых стенок посредством зацепления сначала с системой рычагов и кулис 3 боковой газовой пружины 4, а затем с системой рычагов и кулис 5 торцевой газовой пружины 6. Посредством того же ручного рычага 1 создается усилие в направлении как складывания, так и раскладывания. Создаваемое усилие необходимо для нажатия подпружиненных кнопок, которые расположены соответственно в торцевой части штока 8 боковой блокируемой газовой пружины 4 и торцевой части штока 9 торцевой блокируемой газовой пружины 6. После раскрытия боковых стенок рычагом 1 через отверстие 10 аналогичным образом раскладываются торцовые стенки. После того, как контейнер полностью развернется, ключи от секционных ворот 11 отдают заказчику, а манипулятор с оператором уезжает.

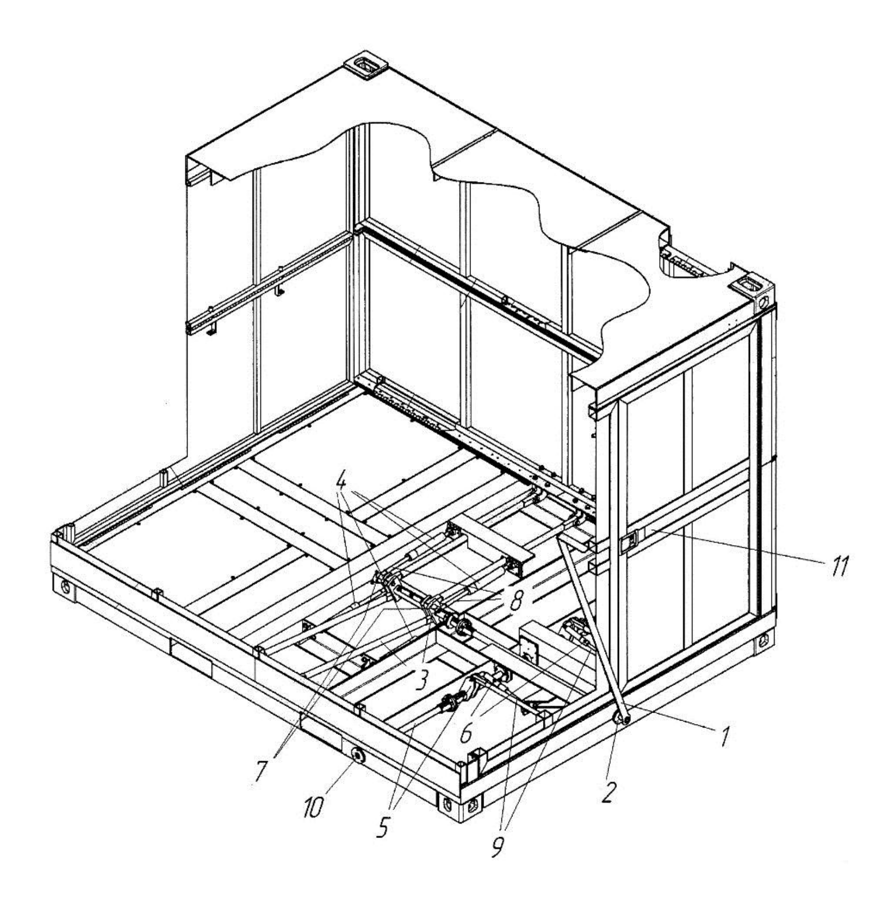


Рис. 2. Основные конструктивные составляющие складного грузового контейнера

Заказчик после загрузки контейнера штучными грузами закрывает его и сообщает оператору о необходимости перемещения. Для этого приезжает пустой манипулятор, загружает контейнер в кузов автомобиля и перемещает его в конечный пункт назначения. По прибытии оператор с помощью манипулятора снимает контейнер с автомобиля на оговоренное место.

Заказчик осуществляет выгрузку и сообщает оператору о необходимости транспортировки пустого контейнера. Оператор в обратном порядке посредством ручного рычага 1 (рис. 3) складывает контейнер, стропует и загружает его в кузов автомобиля, который перемещает сложенные контейнеры на склад (базу), где их штабелируют.



Рис. 3. Процесс раскладывания и складывание контейнера

Исходя из описания принципа работы складного грузового контейнера, очевидно, что главной особенностью такого механизма должна быть способность уравновешивать меняющиеся реакции от собственных масс и моментов его подвижных корпусных элементов (крыши, боковых и торцевых стенок) в процессе складывания и раскладывания. Для реализации такой особенности необходимо иметь представление о поведении проектируемой механической системы в реальных условиях. Для удобства анализа системы делят на изменяемые и неизменяемые, но в жизни все системы являются изменяемыми. Их изменения обусловлены законами природы. Поскольку данная механическая система относится к объектам, обладающим геометрической формой и массой, то ее приспосабливаемость будет подчинена закону наименьшего сопротивления [4]. Этот закон называют принципом Гамильтона, согласно которому сама система выбирает вариант перехода из одного положения в другое в направлении уменьшения потенциальной энергии при наименьших потерях.

Применительно к описываемому случаю при складывании и раскладывании контейнера имеет место отсутствие полной кинетостатической и динамической картины, описывающей взаимосвязи и взаимодействия изменяющихся в процессе складывания и раскладывания движущих сил и их моментов с силами и моментами сил сопротивления. В таких случаях изменение параметров управления системами формулируется непосредственно из целей управления, для чего наиболее целесообразно использовать функционально-адаптивные методы управления [4, 5].

Решение задачи такого типа в приложении к адаптивным системам известна как процедура «синтеза адаптивного регулятора». Для построения адаптивного регулятора какого-либо узла необходимо определиться с параметрами в форме «вход-выход» [6].

Из описания конструкции и работы механизмов контейнера следует, что их силовые и скоростные характеристики в процессе раскрытия изменяются и, следовательно, алгоритм работы такого регулятора должен будет адаптироваться к изменяющимся параметрам объекта в процессе его эксплуатации.

Рассмотрим в общем виде процесс построения адаптивных механических систем с использованием уравнения вектора управления возмущенного (реального) движения для последующего приложения к ведущим и ведомым кинематическим цепям контейнера [7, 8]:

$$\dot{X} = \phi(x,u,t) \tag{1}$$

где $x(t)$ — n -мерный вектор переменных состояний объекта; $u(t)$ — m-мерный вектор управления; t — время функционирования объекта.

Представим уравнение (1) в развернутом виде:

$$\frac{dx}{dt} = \phi_i(x_1,...,x_n,\ u_1...u_m,\ t),\ (i=1,\ n) \tag{2}$$

где $\varphi_i(x_1,...,x_n,\ u_1...u_m,\ t)\cdot(i=1,\ n)$ — заданные функции, которые предполагаются непрерывными и необходимое число раз дифференцируемыми по $x_1,...,x_n,\ u_1...u_m,\ t$.

В исходном уравнении (1) как параметры управления, так и параметры состояния объекта являются функциями, характер изменения которых во времени неизвестен, но может определяться из следующих условий. Задано начальное ($x^{(0)}$) и конечное ($x^{(1)}$) состояние объекта (1):

$$x(t_0) = x^{(0)} \tag{3}$$

$$x(t_1) = x^{(1)} \tag{4}$$

где t_0 — время начала функционирования объекта; t_1 — время окончания функционирования объекта.

Эффективность управления оценивается с помощью интеграла:

$$\gamma = \int_{t_0}^{t_1} \phi_0(x,\ u,\ t)dt\ , \tag{5}$$

где $\varphi_0(x,\ u,\ t)dt$ — заданная непрерывная функция своих аргументов.

При решении поставленной задачи принимаем уменьшение значения этого интеграла, как повышение эффективности управления. Далее учтем ограничения на параметр переменных состояния и управления, а после этого выразим через эти ограничения допустимые пределы ресурса управления и допустимые пределы изменения переменных состояния:

$$|u_k(t)| \le u_k^*\ (k=1,\ m)\ , \tag{6}$$

где $u_k^*(k=1,\ m)$ — заданные числа.

Учитывая в описываемом случае кинематические и конструктивные особенности механизмов контейнера (объектов управления) и условия эксплуатации (переменные состояния), определяем ограниченное множество u в пространстве переменных $u_1,...u_m$. Так как работа механизмов контейнера происходит по замкнутому циклу, то можно предположить, что эта область переменных является замкнутым множеством. Управление возможно внутри и на границе, то есть $u_1(t) = u_1^*$.

На стадии синтеза схем в условиях дефицита информации для описания кинематики элементов механических систем используют уравнения теоретического (невозмущенного) движения. Однако, уже на стадиях проектирования, изготовления и испытания будут возникать некоторые отклонения от проектных условий, т. е. реальные движения элементов складного контейнера будут отличаться от теоретических. Чтобы учесть эти отклонения принято использовать уравнения возмущенного движения, структура которого включает параметр, учитывающий эти отклонения.

Пусть кинематическая схема найдена, и уравнение теоретического движения составлено. Следовательно, функция $u^*(t) = u_k^{(0)}(t)\ (k=1,\ m)$ известна. Решая уравнение (1) с учетом значения этой функции и ограничений (3), (4) получим $x_i^*(t)\ (i=1,\ n)$. Тогда уравнение, которое будет описывать реальное движение элементов проектируемой системы, можно получить, если ввести функцию возмущения (отклонения).

Если $\delta_{xi}(t)\ (i=1,\ n)$ и $\delta_{uk}(t)\ \ (k=1,m)$ — отклонения реального движения и управления от теоретического, то возмущенное движение системы описывается функциями:

$$x_i(t) = x_i^*(t) + \delta_{xi}(t)u_k(t) = u_k^*(t) + \delta_{uk}(t)\cdot(i = 1,n; k = 1,m) \tag{7}$$

Согласно теории адаптивного управления, числовые значения отклонений $\delta_{xi}(t)\ (i=1,\ n)$ неизвестны и являются случайными достаточно малыми величинами. При этом их диапазон не должен превышать некоторого заданного числа ε, т. е. удовлетворять неравенству вида:

$$\sum_{i=1}^{n}\delta_{xi}^{2}(t_0)\le\varepsilon^2 \qquad (8)$$

Далее выразим для возмущенного движения системы (5) эффективность управления как функцию переменных состояний:

$$\gamma=\int_{t_0}^{t_1}\left[x_i(t)+u_k(t)\right]\cdot dt=\int_{t_0}^{t_1}\left\{\left[x_i^*(t)+\delta x_i(t)\right]+\left[u_k^*(t)+\delta u_k(t)\right]\right\}\cdot dt \qquad (9)$$

Итак, решение задачи можно свести к минимизации функционала (5) в заданном интервале $(t_1,\ t_0)$ т. е.:

$$\gamma=\lim_{t_1\to\max}\frac{1}{t_1-t_0}\times\int_{t_0}^{t_1}\left\{\left[x_i^*(t)+\delta x_i(t)\right]+\left[u_k^*(t)+\delta u_k(t)\right]\right\}\cdot dt \qquad (10)$$

Одним из подходов к решению задач аналитического конструирования (синтеза) регулятора является определение матрицы c чисел с размерностью $m\times n$ уравнения регулятора, которое в первом приближении можно описать уравнением в матричной форме:

$$u=c\cdot x \qquad (11)$$

где c — матрица чисел; x — движение объекта.

Реализация такого подхода позволяет обеспечить при возмущенном движении устойчивое движение объекта управления.

Рассмотрим параметры управления и состояния как функции переменных управления и состояния для случая, когда они не зависят от начальных условий из некоторого множества (7), имеющих следующий вид:

$$x_i^*(t)+\delta x_i(t)=\phi_1\cdot[(x_1...x_i),(\delta x_1...\delta x_i)] \qquad (12)$$

$$u_k^*(t)+\delta u_k(t)=\phi_2\cdot[(u_1...u_k),(\delta u_1...\delta u_k)] \qquad (13)$$

Таким образом, функция управления механизмами контейнера включает параметры, для которых известны ограничения, но не известны их текущие значения. Однако структура адаптивных систем подразумевает возможность формирования функции, которая содержит критерий изменения этих параметров:

$$\beta(t)=\phi_3(\beta,\ u) \qquad (14)$$

где $\beta(t)$ — адаптер, т. е. системный элемент, реализующий механизм адаптации.

Итак, алгоритм работы регулятора описывают уравнения (12), (13), а алгоритм процесса адаптации — уравнение (14), содержащее адаптер. В рассматриваемом варианте конструктивного исполнения складного контейнера адаптером с заданным нагрузочным F_n и скоростным V_n параметром, определяющим ресурс управления, будет являться газовая пружина, а параметрами управления и состояния объекта, соответственно, нагрузочно-скоростные характеристики ведущего звена F_0, V_0 (механизма подъема) и ведомых кинематических цепей F_i, V_i.

$$\beta(t)=\phi_3(F_n,C_n)\quad u(t)=\phi_2(F_0,V_0)\quad x(t)=\phi_1(F_i,V_i) \qquad (15)$$

Эксплуатационные испытания. Для проверки работоспособности предлагаемой конструкции складного грузового контейнера были проведены испытания механизмов опытного образца. Разработка технической документации, изготовление и испытание опытного образца выполнялось в ООО ИКЦ «Мысль».

Испытание механизмов контейнера показало их работоспособность, а именно, способность такой конструкции в процессе складывания и раскладывания уравновешивать собственные веса крыши, боковых и торцевых стенок, включая секционные ворота за счет использования блокируемых газовых пружин.

Использование газовых пружин в качестве адаптера позволяет реализовать эффект функциональной самоприспосабливаемости к условиям работы как параметров управления, так и параметров состояния объекта. Причем эффект достаточно хорошо реализуется по всей траектории движения элементов контейнера без использования внешних подъемных механизмов.

Выводы. Предлагаемый подход к совершенствованию конструкции складного контейнера позволит более эффективно решать логистические задачи перевозок в условиях городской среды за счет:

— повышения безопасности людей при подготовительных операциях;

— сокращения топливных расходов за счет уменьшения ходов транспорта;
— снижения загруженности городских дорог;
— уменьшения экологической нагрузки.

Для практической реализации предлагаемого конструктивного решения в общем виде представлена методика синтеза адаптивного регулятора процесса складывания-раскладывания механизмов контейнера.

Кроме этого, как показали испытания, применение газовых блокируемых пружин в качестве связывающих элементов между ведущими звеньями и ведомыми кинематическими цепями обеспечило нормальное функционирование объекта без использования внешних, непосредственно не связанных с ним механизмов.

Библиографический список

1. Короткий, А. А. Информационно-коммуникационная логистическая система для оптимизации транспортных маршрутов в урбанизированной среде / А. А. Короткий, Г. А. Гальченко, В. В. Иванов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. — 2018. — № 4. — С. 60–63.

2. Складной грузовой контейнер : патент 2672998 C1 Рос. Федерация : B65D 88/52 / О. А. Петров, Е. М. Евстратов, А. А. Короткий [и др.]. — № 2017136697 ; заявл. 17.10.2017 ; опубл. 21.11.18, Бюл. № 33. — 17 с.

3. Короткий, А. А. Оценка риска человеческого фактора в системе «персонал - подъемные механизмы – производственная среда» на предприятиях машиностроения статья / А. А. Короткий, Е. В. Егельская // Вестник Донского государственного технического университета. — 2015. — Т. 15, № 1. — С. 131–137. DOI: https://doi.org/10.12737/10396

4. Крайнев, А. Ф. Идеология конструирования / А. Ф. Крайнев. — Москва : Изд-во Машиностроение-1, 2003. — 384 с.

5. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества / А. И. Половинкин. — Москва : Изд-во Машиностроение, 1988. — 368 с.

6. Демьянов, Ал. Ан. Метод адаптивного синтеза фрикционных систем / Ал. Ан. Демьянов, Ал. Ал. Демьянов // Машиностроение. Энциклопедия. — Ред. совет: К. В. Фролов [и др.]. — Москва : Изд-во Машиностроение, 2008. — С. 72–74.

7. Путов, В. В. Адаптивные системы управления многостепенными жесткими нелинейными механическими объектами, построенные по их упрощенным моделям с мажорирующими функциями / В. В. Путов, В. В. Лебедев, А. В. Путов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2013. — № 10. — С. 49–54

8. Нестеров, С. А. Адаптивные системы управления: конспект лекций / С. А. Нестеров. — Санкт-Петербург : Изд-во Факультет технической кибернетики СПбГПУ, 2005. — 90 с.

Сдана в редакцию 22.03.2021
Запланирована в номер 30.04.2021

Об авторах:

Короткий Анатолий Аркадьевич, заведующий кафедрой «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9446-4911, korot@novoch.ru

Демьянов Александр Анатольевич, профессор кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7137-7540 , a11exxandr@yandex.ru

Демьянов Алексей Александрович, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2308-6295 , alexys61@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

А. А. Короткий — основная идея проекта, обоснование влияющих факторов, разработка общей программы исследований; Александр А. Демьянов — разработка вопросов теоретической части; Алексей А. Демьянов — анализ результатов исследования, формулирование направлений улучшения конструкции, оформление текста статьи.

Submitted 22.03.2021
Scheduled in the issue 30.04.2021

Authors:

Anatoliy A. Korotkiy, Head, Department of Transport Systems Operation and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), Dr. Sci. (Eng.), Professor, https://orcid.org/0000-0001-9446-4911, korot@novoch.ru

Aleksandr A. Demyanov, Professor, Department of Transport Systems Operation and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), Dr. Sci. (Eng.), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7137-7540, a11exxandr@yandex.ru

Aleksey A. Demyanov, Associate Professor, Department of Transport Systems Operation and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), Cand. Sci. (Eng.), ORCID: https://orcid.org /0000-0002-2308-6295, alexys61@yandex.ru

Contribution of the authors:

A. A. Korotkiy — the main idea of the project, justification of the influencing factors, development of the general research program; Aleksandr A. Demyanov — development of questions of the theoretical part; Aleksey A. Demyanov — analysis of the results of the study, formulation of directions for improving the design, design of the text of the article.